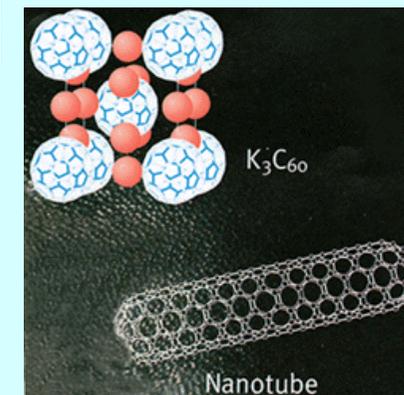
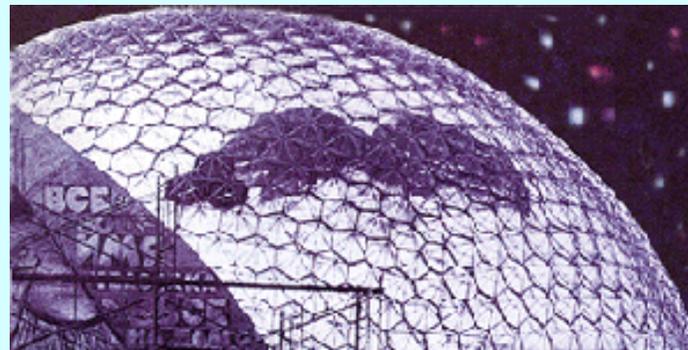
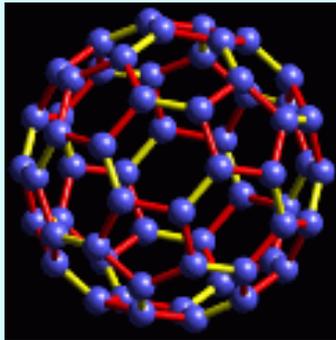


Nuevos materiales y sus aplicaciones



M. Angeles H. Vozmediano

Departamento de Matemáticas, Universidad Carlos III de Madrid

Unidad asociada al ICMM del CSIC

Planificación

1. Materiales convencionales.

- Metales, aislantes, semiconductores.
- Teoría de bandas.
- Semiconductores: electrónica.

2. Materiales superconductores. Aplicaciones

- Superconductividad. Historia.
- Superconductores de alta temperatura.
- Aplicaciones presentes y futuras:
 - El tren de levitación magnética.
 - Resonancia magnética nuclear.
 - Otras aplicaciones.
- Nuevos materiales: fullerenos, nanotubos, orgánicos.

3. Resumen y perspectivas para el futuro.

Conductores, aislantes, semiconductores

Materiales convencionales

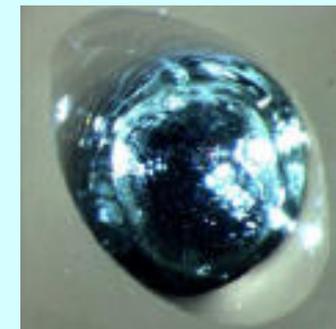
Metales Buenos conductores	Material Cobre Aluminio Hierro	Resistividad (ohm.cm) 2×10^{-6} 3×10^{-6} 10×10^{-6}
Aislantes Malos conductores	Vidrio Diamante Goma Cuarzo	$10^7 -- 10^9$ $10^8 -- 10^9$ $10^{11} -- 10^{13}$ $10^{14} -- 10^{16}$
Semiconductores Intermedio	Grafito Germanio Silicio	0.005 0.1--10 10--1000



Cu



Goma

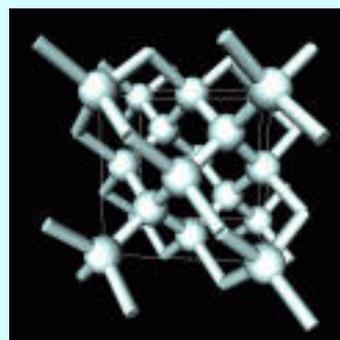


Si

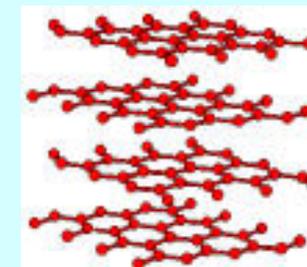
El rango de resistividades se extiende 22 órdenes de magnitud. Enorme para una magnitud física. Las propiedades dependen no sólo del elemento sino de la estructura.



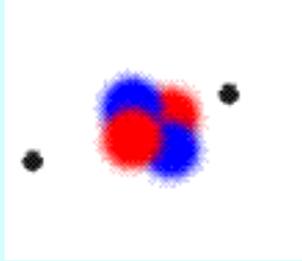
Diamante



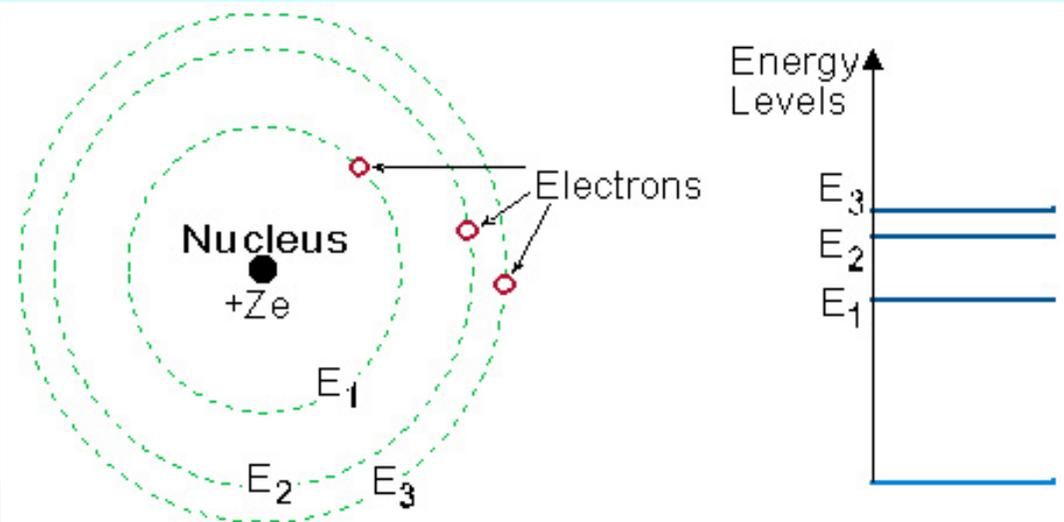
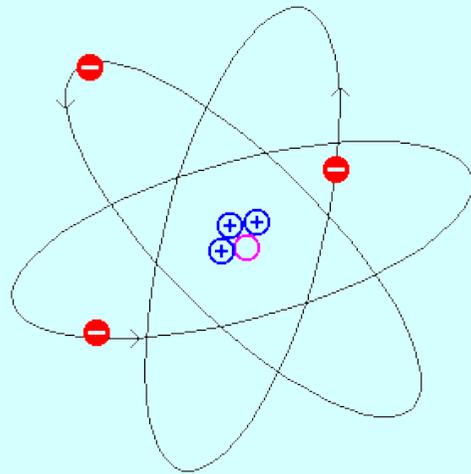
Grafito



El átomo: elementos



He



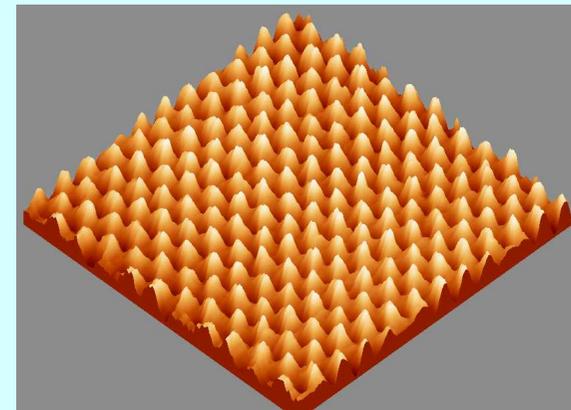
Principio de exclusión de Pauli.
En cada órbita cabe un número fijo de electrones.
La química depende de cómo de llenas están.

Los niveles de energía están separados.
Las energías intermedias están prohibidas.

Abridged Periodic Table of the Elements 4/17/96 ghw

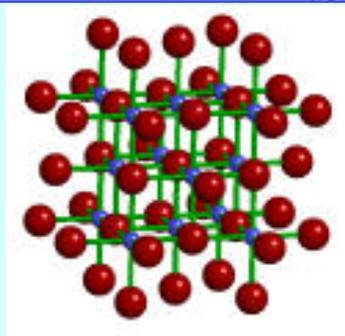
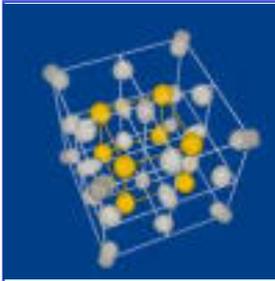
1A	2A		3A 4A 5A 6A 7A					noble
H ¹ 1s ¹	Li ³ 1s ² 2s ¹	Be ⁴ 1s ² 2s ²	B ⁵ 2s ² 2p ¹	C ⁶ 2s ² 2p ²	N ⁷ 2s ² 2p ³	O ⁸ 2s ² 2p ⁴	F ⁹ 2s ² 2p ⁵	Ne ¹⁰ 2s ² 2p ⁶
Na ¹¹ [Ne]3s ¹	Mg ¹² [Ne]3s ²	Al ¹³ 3s ² 3p ¹	Si ¹⁴ 3s ² 3p ²	P ¹⁵ 3s ² 3p ³	S ¹⁶ 3s ² 3p ⁴	Cl ¹⁷ 3s ² 3p ⁵	Ar ¹⁸ 3s ² 3p ⁶	
K ¹⁹ [Ar]4s ¹	Cu ²⁹ 4s ¹	Zn ³⁰ 4s ²	Ga ³¹ 4s ² 4p ¹	Ge ³² 4s ² 4p ²	As ³³ 4s ² 4p ³	Se ³⁴ 4s ² 4p ⁴	Br ³⁵ 4s ² 4p ⁵	Kr ³⁶ 4s ² 4p ⁶
Rb ³⁷ [Kr]5s ¹	Ag ⁴⁷ 5s ¹	Cd ⁴⁸ 5s ²	In ⁴⁹ 5s ² 5p ¹	Sn ⁵⁰ 5s ² 5p ²	Sb ⁵¹ 5s ² 5p ³	Te ⁵² 5s ² 5p ⁴	I ⁵³ 5s ² 5p ⁵	Xe ⁵⁴ 5s ² 5p ⁶
Cs ⁵⁵ [Xe]6s ¹	Au ⁷⁹ 6s ¹	Hg ⁸⁰ 6s ²	Tl ⁸¹ 6s ² 6p ¹	Pb ⁸² 6s ² 6p ²	Bi ⁸³ 6s ² 6p ³	Po ⁸⁴ 6s ² 6p ⁴	At ⁸⁵ 6s ² 6p ⁵	Rn ⁸⁶ 6s ² 6p ⁶

La nueva microscopía permite ver los átomos

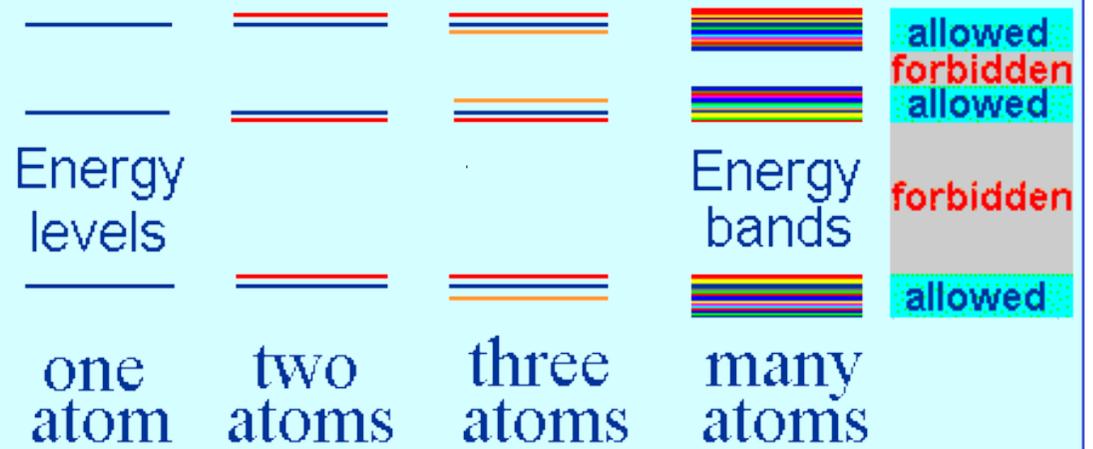


Átomos de grafito vistos con un S(canning) T(unneling) M(icroscope)

Sólidos: materiales

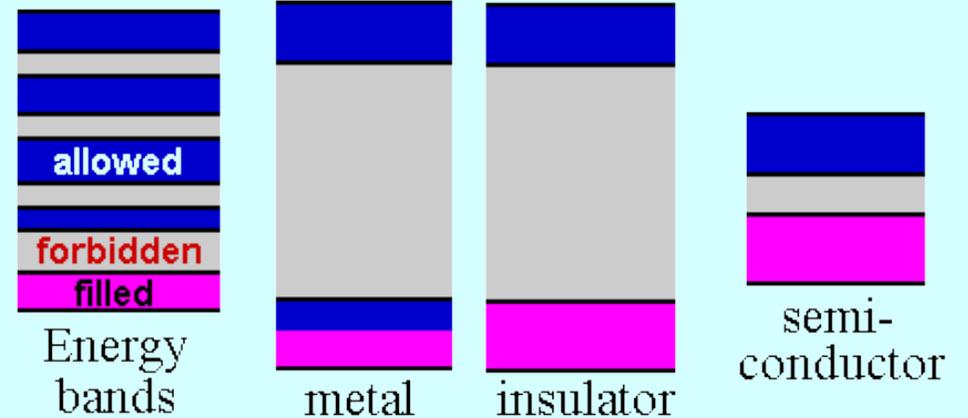
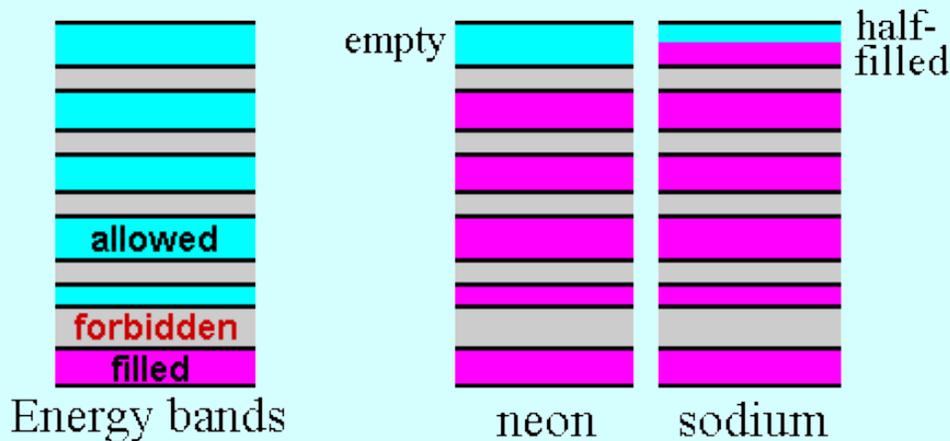


Estructuras cristalinas



El principio de exclusión de Pauli sigue funcionando. Los electrones de átomos vecinos se solapan y las órbitas individuales se desplazan ligeramente.

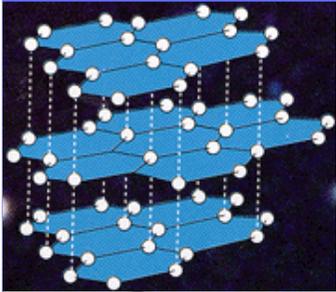
Los niveles de energía se ensachan formando bandas. En cada banda cabe un número par de electrones.



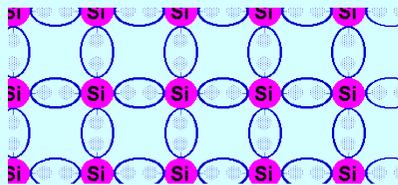
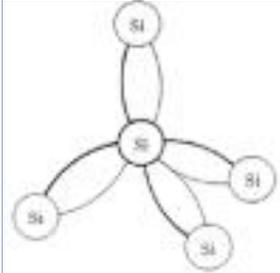
Metales: última banda parcialmente llena.
Aislantes: banda llena.

La conductividad depende de la separación entre la banda de conducción y la de valencia comparadas con la energía térmica.

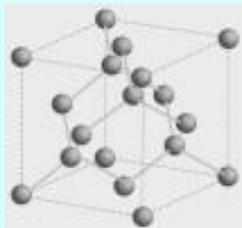
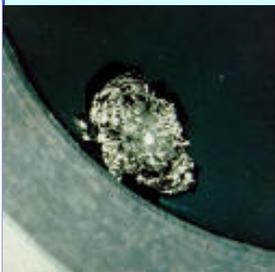
Semiconductores



Grafito



Silicio



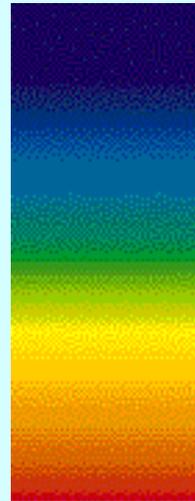
Germanio

Semiconductores: el salto entre la última banda llena y la primera vacía es menor que 2 eV. (Energía térmica a T ambiente: **0.025 eV.**)

Algunas energías típicas:

Fotón	E(eV)
Azul	2.9
Amar.	2.3
Rojo	1.9

Elemento	Salto (eV)	Carácter
Si	1.1	semi
Ge	0.7	semi.
C (diam)	5.5	aisl.
Ne	20	aisl.

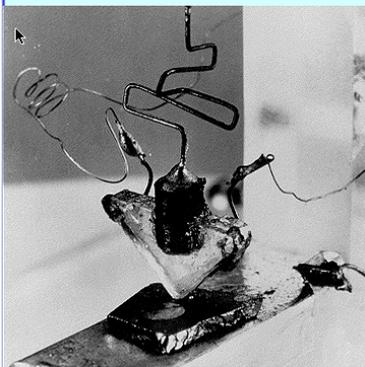


Fotoconductividad: salto parecido a la energía de los fotones de la luz visible (Se).

Base de las aplicaciones electrónicas:

Posibilidad de dejar pasar la corriente en una única dirección.
Los diodos sustituidos por semiconductores.

El primer transistor
1947



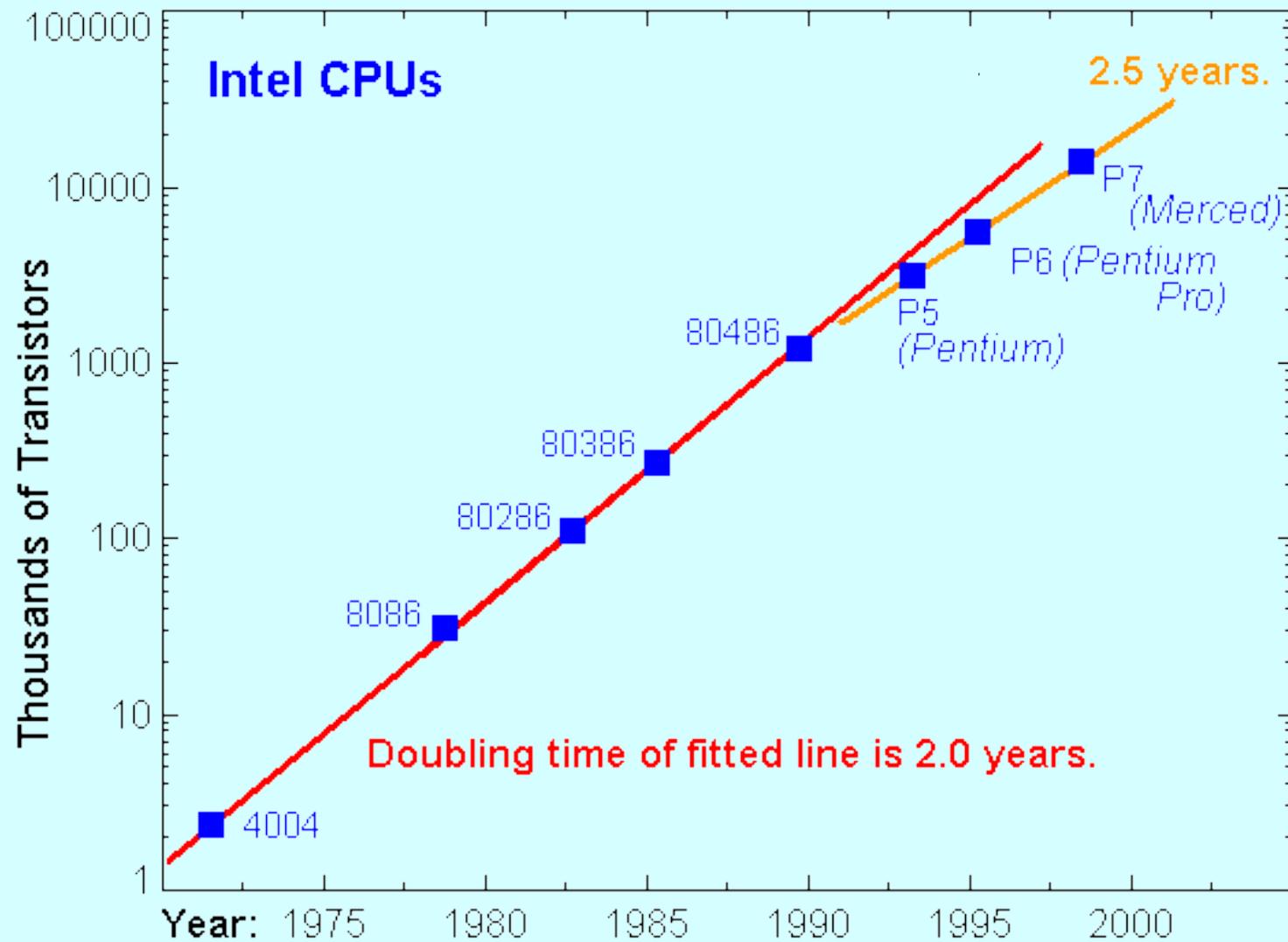
John Bardeen
W. Brattain y
William Shockley
(Nóbel 1956)

- metal/conductor
- oxide (insulator)
- n-type semiconductor
- p-type semiconductor

**n-channel
MOSFET**



Los nuevos semiconductores



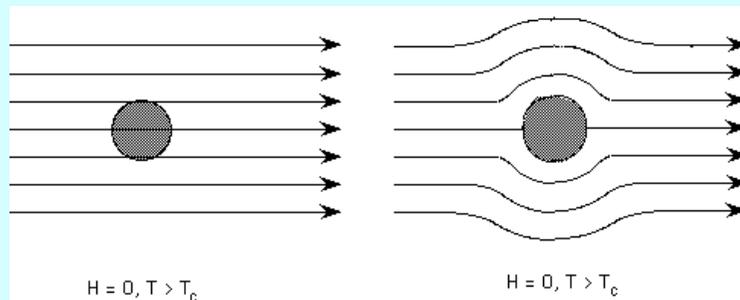
Superconductores (I)



- 1911: Kamerling Onnes observó que la resistencia eléctrica del mercurio desaparece a 4K (- 269 °C).

Temperatura a la que se licúa el Helio. La más baja alcanzable entonces.
Nóbel en 1913.

- 1933: Meissner y Ochsenfeld descubren que los superconductores repelen el campo Magnético (efecto Meissner). Base de muchas aplicaciones.



- En las décadas siguientes se ve que la superconductividad es más la regla que la excepción.
- 1962: Westinghouse desarrolla el primer cable superconductor de Ni Ti .
- Se sintetizan materiales con temperatura crítica de casi 20K. El fenómeno sigue sin explicación.

- 1957: Teoría BCS (44 años). Explica la SC de baja temperatura.
Nóbel en 1972.

- 1962: Josephson predice que hay flujo de corriente entre dos superconductores incluso si están separados por un aislante (efecto Josephson). Base de componentes electrónicos (SQUID).
Nóbel en 1973.



Bardeen



Cooper



Schrieffer

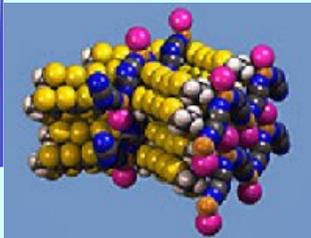
Superconductores (II)

Los increíbles años 80

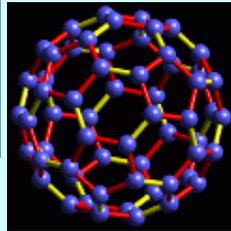
- 1964 Little sugiere la posibilidad de encontrar superconductores orgánicos de T_c alta.
- 1980: Klaus Bechgaard sintetiza el primer SC orgánico a 1.2K y alta presión.
- 1985: Curl, Kroto y Smalley sintetizan el C60. (Nóbel en 1996).



K. Bechgaard



SC orgánico



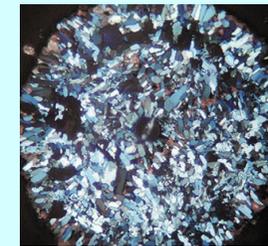
C60

SC de alta temperatura crítica (HTS)

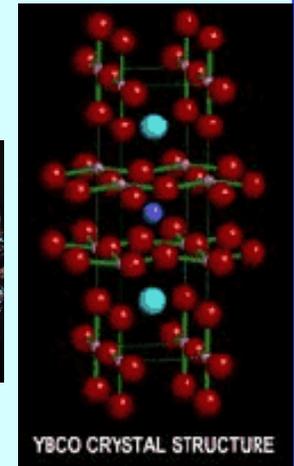


Muller

Bednorz



BSCCO

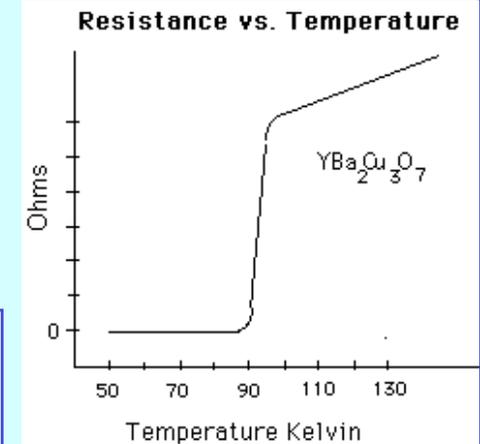


YBCO CRYSTAL STRUCTURE

- 1986: Bednorz y Muller "crean" una cerámica superconductora a 30K. Nóbel en 1987.
- 1987: se sintetiza un compuesto, el YBCO con T_c de 92K (Nitrógeno líquido: 70K).
- 1991: se encuentra SC en compuestos de fullerenos dopados con T_c de hasta 40K.
- 1993: se alcanza el récord de T_c dopando con Hg: 138K (a alta presión 20K más).

Otros descubrimientos. Situación actual.

- 1997: se encuentra SC en una aleación magnética (PbIn). T_c cercana a 0K.
- 2000: primer SC de alta T_c sin cobre (MgB). Estructura parecida al grafito.
- 2001: se anuncia el descubrimiento de un SC de plástico. Se retira en 2002. (El País).
- 2002: sigue sin haber una teoría que explique la SC de alta temperatura.



Aplicaciones de los SC (II)

Trenes de alta velocidad de levitación magnética

1. ¿Cómo funcionan?
2. ¿Realmente funcionan?

Japón



Alemania

Funcionando varios prototipos

- Universidad de Virginia 1 km
- Birmingham-aerop. 62mi
- Transrapid (Alemania)
- Yamanashi (Japan)

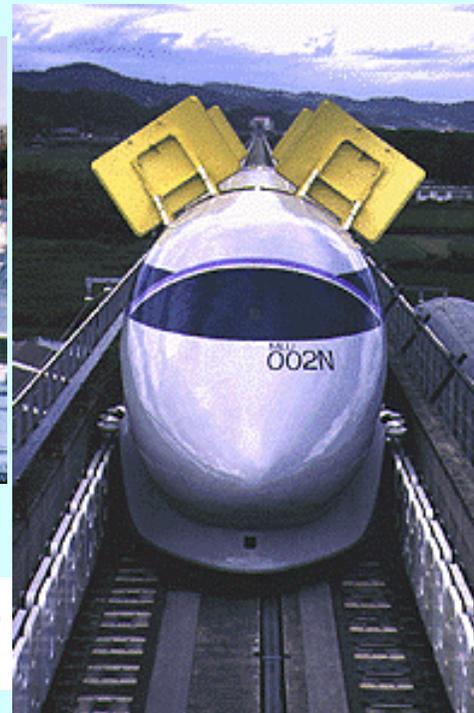
En construcción:

- Shangai aerop-centro 30km
- Baltimore-Washington 40km
- Tokio-Osaka 500Km
- Berlin-Hamburgo 300km



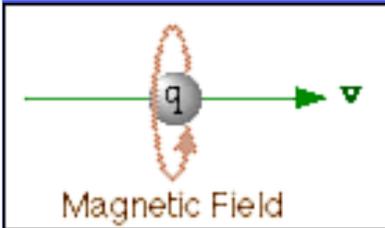
Vía de prueba de Yamanashi 1977: 43 km

1998: se cruzan dos trenes con v relativa 966 km/h.
1999: Velocidad máxima con 5 vagones: 552 km/h.



Frenos aerodinámicos

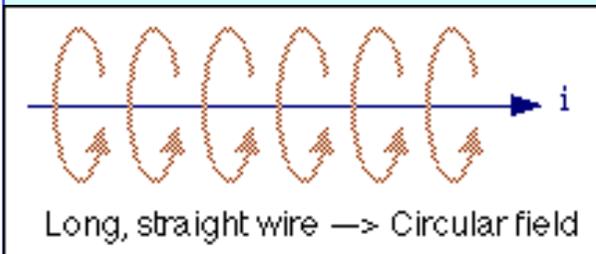
Funcionamiento del maglev



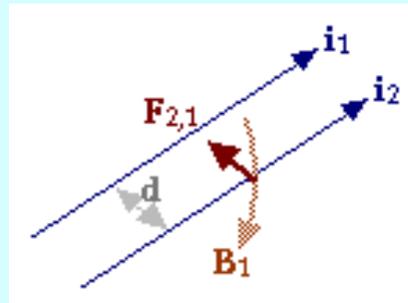
1

Fundamentos magnéticos

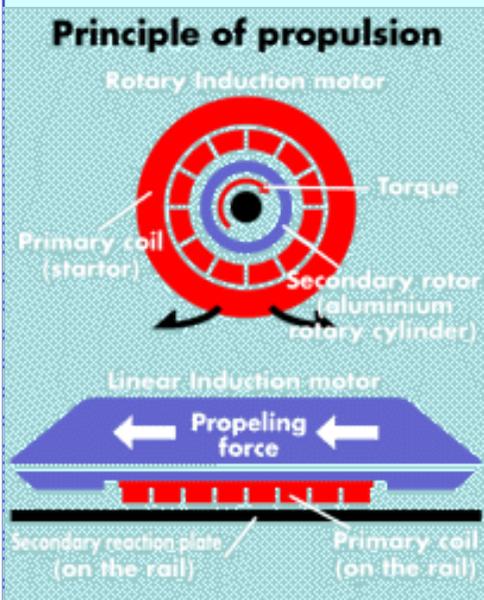
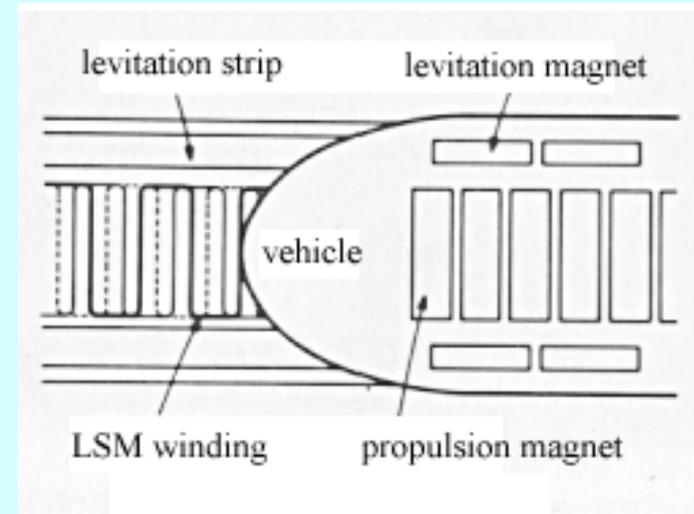
- Una carga acelerada crea un campo magnético a su alrededor (1, 2).
- Un campo magnético variable que atraviesa una espira induce en ella una corriente eléctrica que trata de anularlo (ley de Lenz) .
- Dos corrientes paralelas se atraen o repelen según la dirección de las intensidades (3).



2



3



Sistema de flotación

- Bobinas superconductoras a todo lo largo del tren alimentadas por baterías propias crean campos magnéticos muy intensos (digamos hacia el suelo).
- Circuitos inertes colocados a lo largo de las vías activan al paso del tren campos magnéticos inducidos que repelen al tren y lo mantienen suspendido sobre la vía.

Sistema de propulsión

- Motor lineal instalado en las guías. Independiente del sistema de flotación. La velocidad controlada por la frecuencia de la corriente. Frena cambiando la dirección del campo que lo impulsa.
- Al circular se recargan las baterías del tren con generadores integrados en los soportes magnéticos.

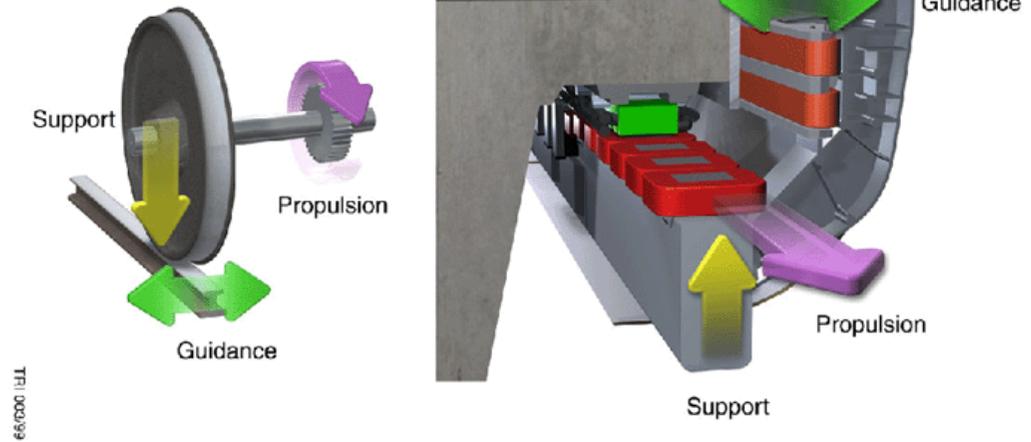
Funcionamiento del maglev (II)



Comparison of Systems Railroad / Maglev



Electromagnetic Levitation



Problemas

- Usa superconductores clásicos enfriados con He líquido (muy caro).
- No funciona bien a velocidades bajas (el campo inducido depende de la velocidad).

Futuro

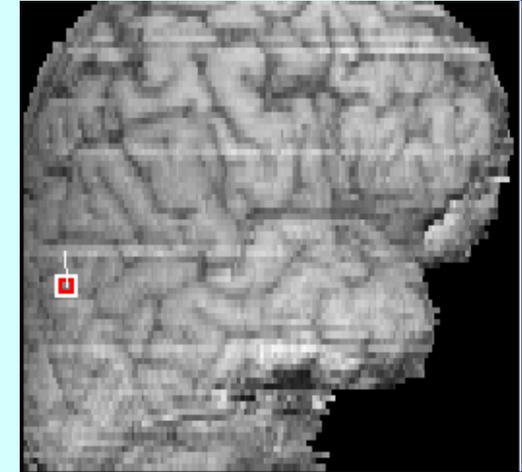
- Túneles de vacío: trenes supersónicos (1224 km/h). (?)

Resonancia Magnética Nuclear

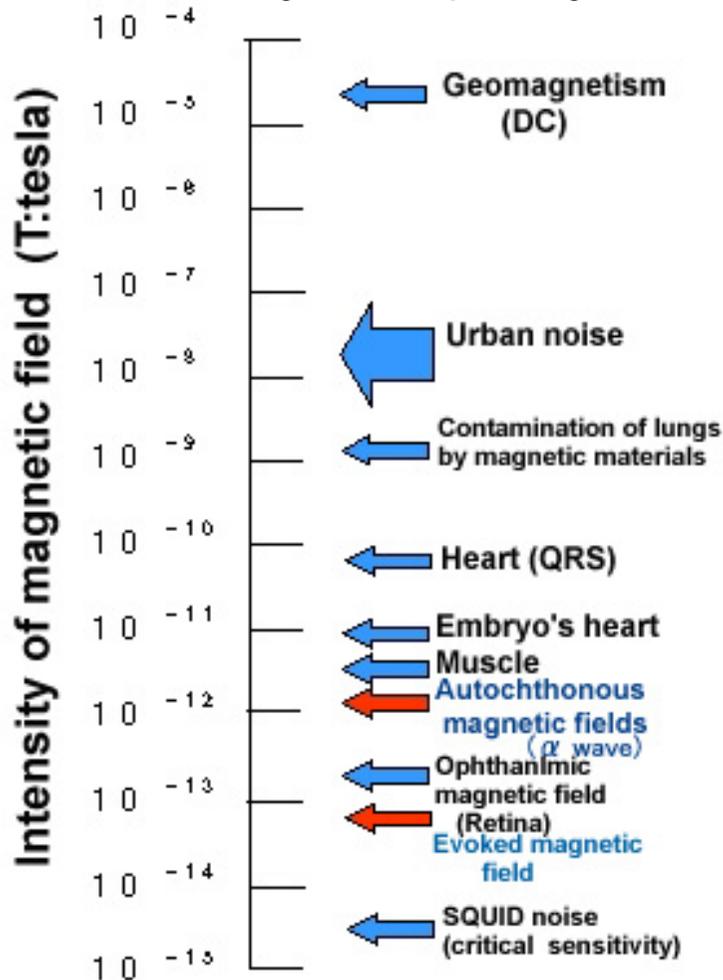


- Se polarizan los espines de la zona con campos magnéticos muy intensos.
- Se reconstruye la estructura de los tejidos orgánicos a partir del mapa magnético.

SQUID: es capaz de detectar campos magnéticos muy débiles usando el efecto Josephson.

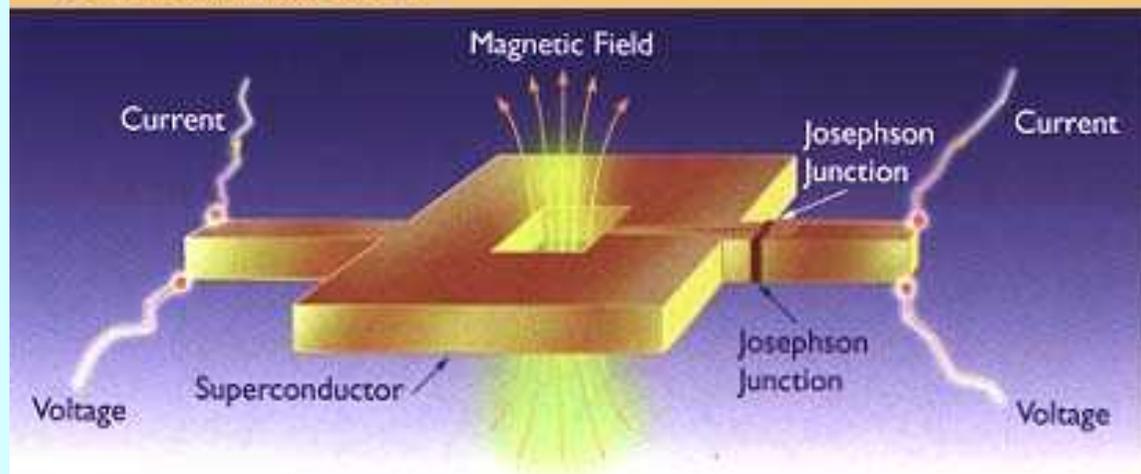


Intensidades de algunos campos magnéticos



Magnetoencefalografía: usa Squids para medir los campos magnéticos cerebrales.

A SQUID (Superconducting QUantum Interference Device) is the most sensitive type of detector known to science. Consisting of a superconducting loop with two Josephson junctions, SQUIDS are used to measure magnetic fields.



Otras aplicaciones

La mayoría basadas en la capacidad de generar campos magnéticos muy grandes.

	En uso	Futuras
1. Transporte: { trenes de levitación magnética. propulsión de barcos.	x	x
2. Medicina: resonancia magnética nuclear, scanners.	x	
3. Filtros para microondas.		x
3. Investigación: aceleradores de partículas.	x	
4. Espacio: escudos contra la radiación cósmica		x
5. Cables para transporte eléctrico		x



Magnetohidrodinámica: se empuja el barco haciendo pasar corriente eléctrica por un fluido conductor (agua) en presencia de un campo magnético. Navy.

Cables eléctricos: se han construido en Brookhaven con Nb₃Sn (T= 18K). **Problema:** la corriente alterna genera ondas de radio que producen pérdidas. Muy caros.

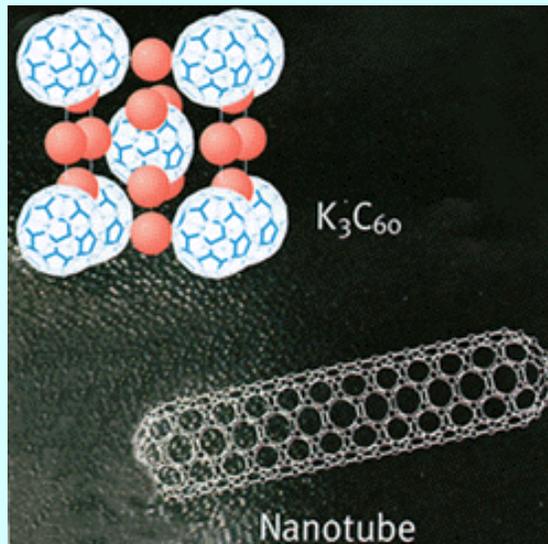
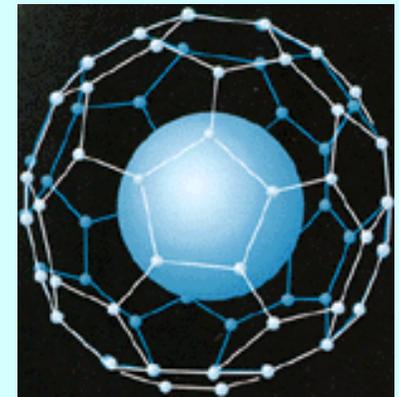
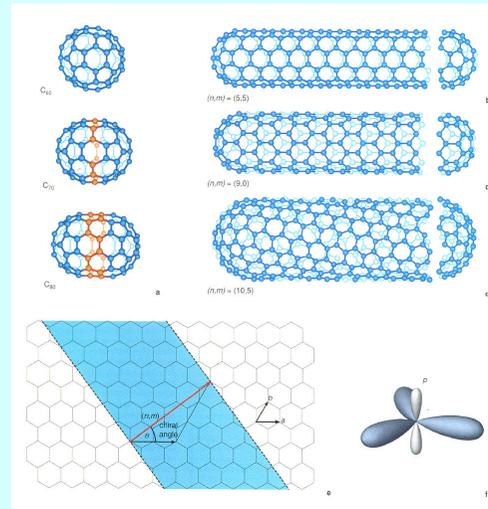
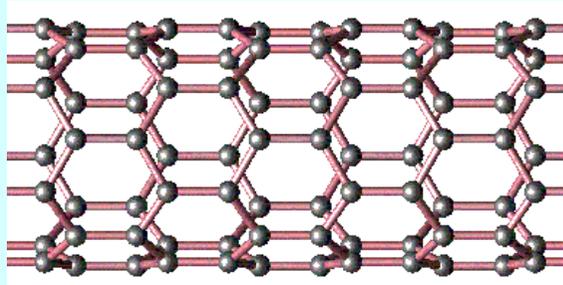
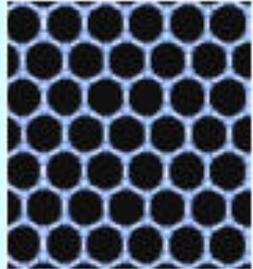
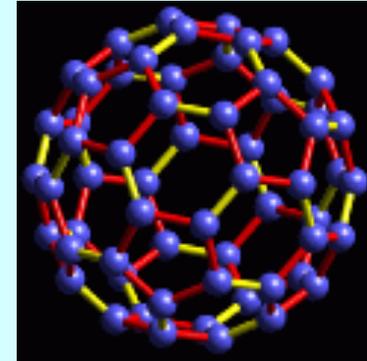
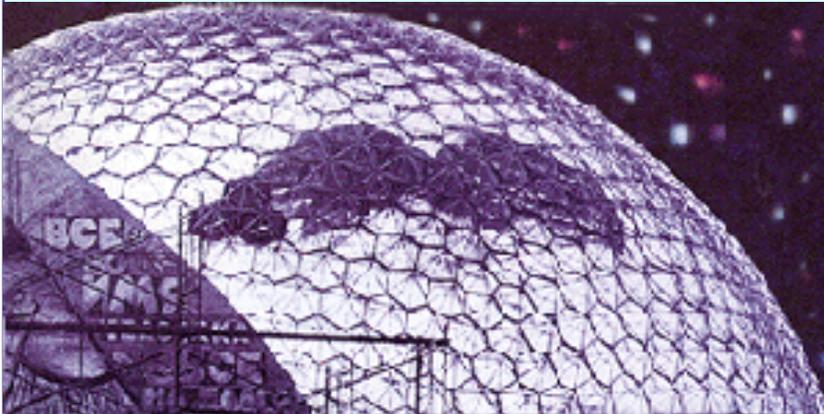


Espacio: Lockheed tiene en construcción un solenoide de 2 m de diámetro con un campo de 1000 kOe en su centro capaz de proteger un nave espacial de la radiación cósmica del espacio (10⁸ eV). pesa 1/20 menos que uno ordinario.

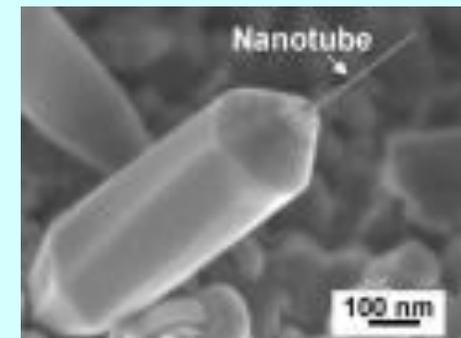
Aceleradores de partículas: usan bobinas superconductores para crear campos magnéticos muy intensos en el centro del túnel por el que circulan las partículas cargadas que se aceleran por efecto sincrotrón.

Los nuevos superconductores

Fullerenos



Nanotecnología: posibilidad de manipular objetos de tamaño de nanómetros (10^{-9}m)



STM

Conclusiones y futuro

Ciencia: explicación y comprensión de los fenómenos (físicos en nuestro caso).

- Experimental: observación. Diseño de nuevos experimentos. Análisis e interpretación de los datos.
- Teoría: modelización de los fenómenos. Acuerdo con los datos experimentales. Explicación. Propuesta de nuevos experimentos. Una herramienta útil: simulación numérica.
- Nuevos superconductores de alta T_c : no hay explicación satisfactoria. Ningún modelo explica todos los datos experimentales.

Tecnología: desarrollo y diseño de aplicaciones de los fenómenos científicos.

- Casi todo por hacer en el campo de la HTS.